

**ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOFÍSICO PARA LA BUSQUEDA DE AGUAS
SUBTERRANEAS Y PRE DISEÑO DE UN POZO, VEREDA TOIBITA, PAIPA
BOYACA.**

FABIO ANDRÉS VELANDIA NOSSA

COD. 200810951

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
2015**

**ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOFÍSICO PARA LA BUSQUEDA DE AGUAS
SUBTERRANEAS Y PRE DISEÑO DE UN POZO, VEREDA TOIBITA, PAIPA
BOYACA.**

FABIO ANDRÉS VELANDIA NOSSA

**Trabajo de grado en la modalidad de monografía para optar por el título de
Ingeniero Geólogo.**

DIRECTOR

M. Sc. Ing. FREDY ALEXANDER FONSECA BENITEZ

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
2015**

NOTA DE ACEPTACIÓN

AGRADECIMIENTOS

A Dios, en primer lugar por la vida y la salud, a mis abuelos, mis padres, y familiares por el gran apoyo y la confianza depositada en mí, para nunca desanimarme, también a mis profesores que con su entrega, ética y conocimientos contribuyeron con mi formación tanto académica como personal, todo esto para poder llegar a mi propósito final de esta etapa como estudiante.

DEDICATORIA

A mi hermosa hija Luciana, quien se convirtió en el motor de mi motivación para ser cada día mejor persona, también va dedicado a mi querido abuelo Eliseo, quien se ha esmerado y lo sigue haciendo para que mis sueños y metas se cumplan.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1. GENERALIDADES	16
1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	16
1.2 CLIMA	17
1.3 HIDROLOGÍA	18
1.3.1 Hidrografía.	18
1.3.2 Estimación de la oferta hídrica por precipitación.	20
1.4 RELIEVE.	21
1.4.1 Unidad de origen erosional-estructural	21
1.4.2 Lomas anticlinal y homoclinal degradadas en arenisca	22
1.4.3 Lomas homoclinales muy degradadas en arcillolitas limosas	22
2 GEOLOGÍA	23
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL	23
2.1.1 Formación La Rusia	23
2.1.2 Formación Arcabuco	24
2.1.3 Formación Ritoque	24
2.1.4 Formación Los Medios	24
2.1.5 Formación Guaduas (KTg)	24
2.1.6 Formación Bogotá (Tb)	25
2.1.7 Formación Tilatá (Tst)	25
2.1.8 Depósitos Cuaternarios	25
2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	26
2.2.1 Falla de Boyacá	26
2.2.2 Anticlinal de Arcabuco	26
2.2.3 Sinclinal de Los Medios	27
2.3 GEOLOGÍA LOCAL	27

2.3.1	Perfil Geológico.	28
2.3.2	Formacion Guaduas	28
2.3.3	Formacion Tilatá.	29
2.3.4	Deposito aluvial.	33
2.4	HIDROGEOLOGÍA	35
2.4.1	Formación La Rusia	35
2.4.2	Formación Arcabuco	35
2.4.3	Formación Ritoque	36
2.4.4	Formación Los Medios	36
2.4.5	Formación Guaduas	36
2.4.6	Formación Bogotá	36
2.4.7	Formación Tilatá	36
2.4.8	Depósitos aluviales (Cuaternario)	37
2.4.9	Abanicos aluviales (cuaternario)	37
2.4.10	Cuaternario sin diferenciar	37
3	EXPLORACIÓN GEOELÉCTRICA.	37
3.1	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	37
3.1.1	Fundamentos teórico-físicos del método SEV.	37
3.1.2	Propiedades eléctricas de las rocas.	39
3.2	Metodología de los trabajos con sev.	40
3.3	PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE DATOS.	42
4	RESULTADOS	44
4.1	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE SEV Y MODELOS GEOLÓGICO-GEOFÍSICOS (Ver Anexo 7).	44
4.1.1	SEV1	44
4.1.2	SEV 2	45
4.1.3	SEV 3	45
4.1.4	Descripción del corte geológico-geofísico. (Ver Anexo 8)	45
4.1.5	Ubicación del pozo.	46
5	PRE DISEÑO DE UN POZO PROFUNDO.	47
5.1	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	47
5.2	PRE DISEÑO DE UN POZO.	50
5.2.1	Costos.	52
	CONCLUSIONES	53
	RECOMENDACIONES	54

BIBLIOGRAFÍA

55

ANEXO 6

57

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.	TABLA DE VALORES DE LA RESISTIVIDAD EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	44
TABLA 2.	COSTOS.	52

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.	16
FIGURA 2.	VÍAS DE ACCESO.	17
FIGURA 3.	MAPA UNIDADES CLIMÁTICAS.	17
FIGURA 4.	MAPA GEOLÓGICO REGIONAL TOMADO Y MODIFICADO P.O.T DEL MUNICIPIO DE PAIPA.	23
FIGURA 5.	MAPA GEOLÓGICO LOCAL.	28
FIGURA 6.	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA LEVANTADA EN AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN TILATA.	32
FIGURA 7.	MAPA POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO TOMADO DEL P.O.T. MUNICIPIO DE PAIPA.	35
FIGURA 8.	EQUIPO DE CAMPO.	38
FIGURA 9.		39
FIGURA 10.	ARREGLO SCHUMBERGER.	41
FIGURA 11.	CURVA DE DOS CAPAS.	43
FIGURA 12.	CURVAS DE TRES CAPAS	43
FIGURA 13.	DIÁMETROS DE POZOS RECOMENDADOS (SEGÚN E. E. JOHNSON, 1966)	47

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1.	AFLORAMIENTO F. GUADUAS.	29
FOTOGRAFÍA 2.	CAPA ARENOSA F. TILATÁ.	30
FOTOGRAFÍA 3.	MATERIAL CONGLOMERÁTICO F. TILATÁ.	31
FOTOGRAFÍA 4.	AFLORAMIENTO FORMACIÓN TILATA.	33
FOTOGRAFÍA 5.	DEPÓSITO CUATERNARIO ALUVIAL	34
FOTOGRAFÍA 6.	EQUIPO PARA LA TOMA DE DATOS	42

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 Mapa de isoyetas.

ANEXO 2 Mapa geológico regional

ANEXO 3 Columna estratigráfica regional

ANEXO 4 Mapa geológico local

ANEXO 5 Columna estratigráfica local

ANEXO 6 Tablas de datos de los SEV (sondeos eléctricos verticales). 57

ANEXO 7 Modelos geológico-geofísicos

ANEXO 8 Corte geológico-geofísico

ANEXO 9 Pre-diseño de pozo.

RESUMEN

El presente estudio, comienza a desarrollarse con una recopilación de información general geológica, geofísica, hidrológica, de la parte sur de la vereda Toibita, ubicada al noreste del casco urbano del municipio de Paipa; luego de esto se busca información detallada con visitas de campo e investigaciones de bibliografía correspondiente al tema. Con lo anterior se determina la realización de tres sondeos eléctricos verticales los cuales se interpretan y se correlacionan con la geología de la zona, con el objetivo de encontrar la información geológica a profundidad, y analizar las posibilidades de pre diseñar un pozo profundo para la extracción de Aguas subterráneas.

ABSTRACT

This study begins to develop with a collection of general information about geology, geophysics, hydrology of the southern part of the Toibita village, located northeast of the urban area of Paipa. After that detailed information was obtained in fieldwork and the relevant literature. With the above performing three vertical electrical soundings which are interpreted it is determined and correlated with the geology of the area, with the objective of finding depth geological information, and explores possibilities for predesign a deep well for the extraction of groundwater.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de aguas subterráneas es una de las actividades más importantes dentro de las ciencias de la tierra y es el objetivo fundamental y en el cual se basa este proyecto, que viene a desarrollarse con la ayuda de algunas herramientas muy útiles para tal fin. En este caso el trabajo se realiza en la zona noreste del municipio de Paipa Boyacá, sobre la vereda Toibita, una zona donde aflora la formación Tilatá, de componentes arcillosos y arenosos principalmente, también hace presencia un depósito cuaternario aluvial, lo que da en principio una idea general de que puede ser estudiada con el objetivo de hallar agua subterránea y realizar el pre diseño de un pozo para su extracción; Para lograr el objetivo se han realizado los estudios correspondientes a la geología superficial y con la geofísica, el estudio de las resistividad aparente de las rocas en profundidad y llegar a tener los conceptos e información necesaria para lograr el resultado esperado al final.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar las características geológico-geofísicas con el método SEV para la búsqueda de aguas subterráneas y el pre-diseño de un pozo en la vereda Toibita Paipa Boyacá.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Obtener información del área y de estudios realizados anteriormente en ésta, relacionados a su geología, geofísica, e hidrogeología.

Determinar aspectos geológicos del área de estudio basados en información preexistente y visitas a campo.

Desarrollar el estudio geológico-geofísico con el método SEV.

Establecer el lugar más favorable para la ubicación del pozo y extracción de agua subterránea.

Realizar el pre-diseño de un pozo para la posible extracción de agua subterránea.

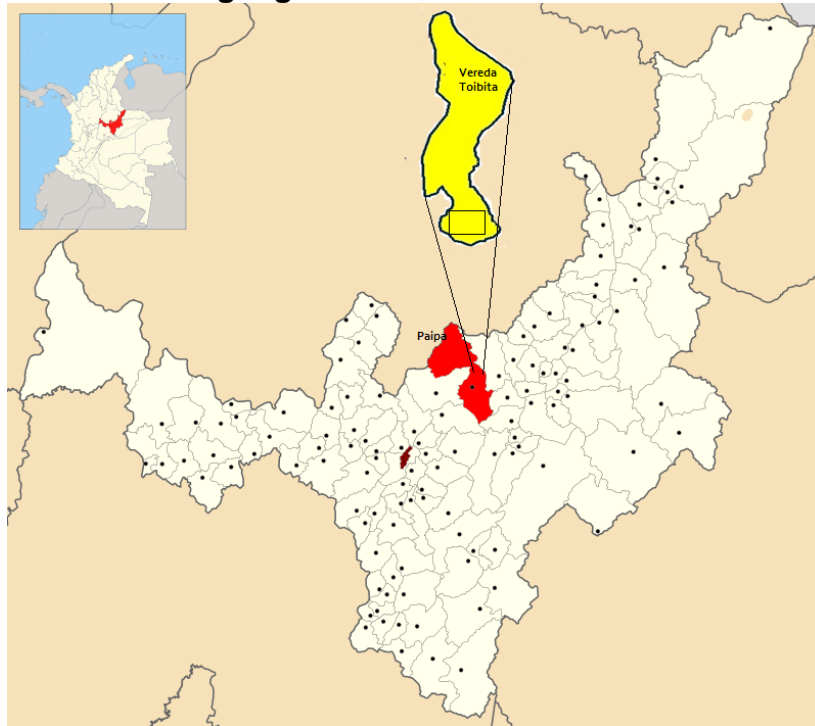
1. GENERALIDADES.

1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

El área de estudio se encuentra entre las coordenadas X: 1107000-1109000; Y: 1130000-1132000.

La vereda Toibita se encuentra en El municipio de Paipa, el cual está localizado en la parte centro oriental del País y noroccidental del departamento de Boyacá, sobre la Cordillera Oriental de Colombia a 2525 metros sobre el nivel del mar, dista aproximadamente 184 Kilometros de Bogotá y 40 Kilometros de Tunja. Abarca una extensión de 30.592,41 hectáreas. Presenta una temperatura promedio de 13 °C.¹

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.



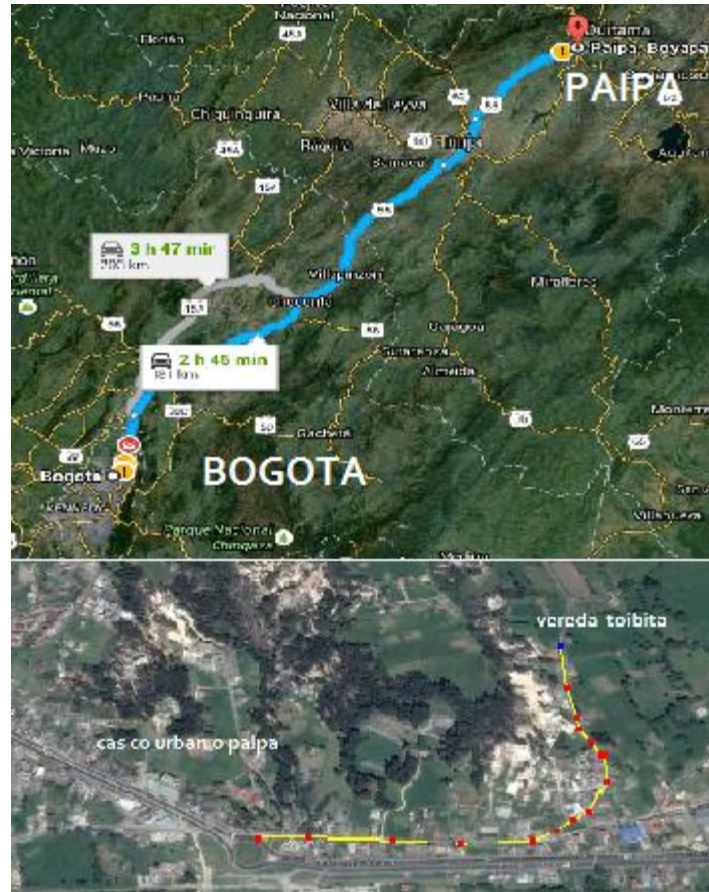
Fuente. Wikipedia.VÍAS DE ACCESO.

La imagen de Google Earth muestra Carretera Bogotá- Tunja-Paipa- Vereda Toibita. En la parte superior de la imagen se muestra la ruta para llegar desde

¹ (<http://es.wikipedia.org/wiki/Paipa>, 2015).

Bogotá a Paipa y en la parte inferior se muestra cómo llegar desde el casco urbano de Paipa a la zona de estudio.

Figura 2. Vías de acceso.

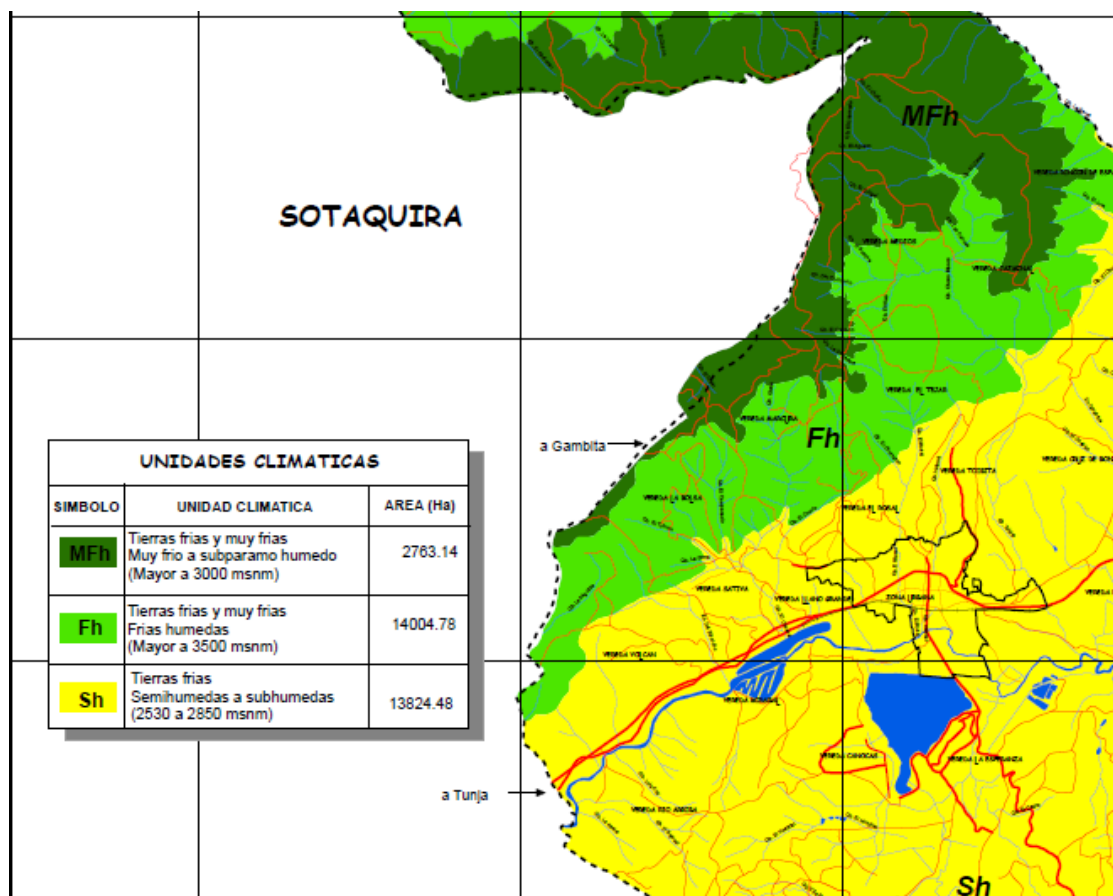


Fuente. Google Earth.

1.2 CLIMA.

El clima de paipa se representa en el siguiente mapa subdividido en tres unidades climáticas en función de la altitud al nivel del mar.

Figura 3. Mapa unidades climáticas.



Fuente. P.O.T Municipio de Paipa.²

Como lo muestra la imagen el área de estudio está determinada como tierras frías semihúmedas a subhúmedas encontrándose a una altitud entre los 2500 y 2600 msnm. Presenta una temperatura promedio de 13°C., con una precipitación media anual: 944 mm.

1.3 HIDROLOGÍA.

1.3.1 Hidrografía.

Las cuencas hidrográficas son un conjunto de aspectos, recursos, y desarrollos, que actúan sincronizadamente. Dos grandes componentes se fusionan en una cuenca hidrográfica: el físico biótico y el socio económico. Su interacción rompe en

² Plan De Ordenamiento Territorial PAIPA. 2000. EXPEDIENTE MUNICIPAL CARTOGRAFIA

ocasiones numerosos equilibrios logrados a través de siglos por la naturaleza, pero, puede conformar una nueva estabilidad transitoria o permanente, si se somete la cuenca a planes de ordenamiento y manejo adecuados.

Para ordenar una cuenca hidrográfica es indispensable distinguir sus características físicas y bióticas, entender los grupos humanos que usufructúan los recursos del área, conocer la infraestructura que ha instalado el Estado y consultar los planes que rigen la región donde se ubica la cuenca (Araque, 1999).

Las cuencas hidrográficas que componen el municipio son: Cuenca del río Chicamocha, Cuenca del río Palermo y Cuenca de río Tolotá.

La superficie de cada uno de estos sistemas es:

Río Chicamocha	17.825 has
Río Palermo	9.560 has
Río Tolotá	4.445 has
Total área	31.830 has

Componentes de las cuencas

Río Chicamocha: quebrada Los Frailes, quebrada Rejalgar, quebrada La Despensa, quebrada La Honda, quebrada Pan de Azúcar y quebrada Aguablanca, Toibita.

Quebrada Honda o río Salitre: quebrada El Cerón, quebrada Del Palacio, quebrada La Culebra, quebrada Olitas, quebrada Aguatibia, quebrada Calderitas, quebrada El Cedro, quebrada El Tunal o Lagunitas, quebrada Canocas, quebrada El Hospital.

Quebrada el Chuscal: quebrada El Chorro, quebrada El Totumo.

Quebrada El Matico.

Quebrada el Manzano.

Quebrada Toibita: quebrada Chorro Blanco, quebrada El Hortigal, quebrada El Coconuco, quebrada Electoral, quebrada Los Arrayanes y quebrada El Olvido.

Quebrada Valencí.

Quebrada Rosales: quebrada La Cortadera.

Río Surba: quebrada Barro Negro, quebrada La Zarza, quebrada Almofrejes, quebrada Jote, Za. La Carbonera, quebrada Los Vargas, quebrada El Cucubo, quebrada El Chuscal, Za. Iguanitos y quebrada El Colorado.

Río Palermo: quebrada Los Pinos, quebrada Los Arrayanes, quebrada Las Veras, R. Cuesta, q, Chuscal, R. Cuestano (quebrada El Cardonal y quebrada La Paila) q, El Cedro, quebrada La Venta, quebrada El Guantivo, quebrada Los Sauces, quebrada El Fical, quebrada Las Piedras, quebrada El Hortigal, quebrada El coso y quebrada Peña Blanca.

Río Tolotá: quebrada El Volcán, quebrada El Frailejonal, quebrada Patiobonito, quebrada El renacuajal, quebrada El Venado I, quebrada El Venado II., quebrada El Jupal.

Todas las cuencas del municipio son componentes de la cuenca del río Sogamoso y por consiguiente del río Magdalena, y tienen su nacimiento y desarrollo en el flanco occidental de la cordillera oriental.

Las Subcuencas de la zona sur del municipio, por corresponder a un área seca, no tienen caudal abundante ni pendientes fuertes. La quebrada Honda o río Salitre transporta una buena cantidad de sales, suministradas por las fuentes termales que aparecen en el área media y baja de la subcuenca. Los patrones de drenaje que predominan en esta zona son el dendrítico, subdendrítico (poco densos) y algo meándrico en el Valle del Chicamocha (Ver mapa de hidrología)

Las subcuencas de la zona norte, por pertenecer a un área húmeda y quebrada, son mucho más pendientes, mantienen caudal permanente y abundante, pueden presentar fenómenos de torrencialidad y arrastran buena cantidad de sedimentos en las épocas de lluvias. La red de drenaje es densa y presenta patrones de drenaje tipos subdendrítico y paralelo.

Con datos de precipitación certificados y mejor distribuidos, puede hacerse un cálculo aproximado de los aportes de las corrientes de agua, utilizando cálculos de evapotranspiración. Tan solo existen aforos del río Chicamocha, con un caudal medio anual de 33.65 m³/seg en la estación La Siberia (Lat, 5° 47', long. 73°07' y elevación de 2.539 metros sobre el nivel del mar).

Finalmente, con base en la influencia de las quebradas y ríos principales se han definido 14 subcuencas, espacializadas en el mapa correspondiente.³

1.3.2 Estimacion de la oferta hídrica por precipitación.

³ Plan De Ordenamiento Territorial PAIPA. 2000. SUBSISTEMA BIOFISICO

Se realizó la estimación de la oferta hídrica por precipitación, procesando los datos de precipitaciones totales en un lapso de 25 años, de las estaciones pluviométricas de la Rusia, Tinguavita, Palermo, Cruz de Bonza y Tibasosa, tomados desde el año 1985 a la fecha actual y, realizando la interpolación de dichos datos en el software ArcGis 9.3, se generó un mapa de isoyetas y otro de isotermas, de los cuales se puede tener un estimativo de la oferta hídrica en la zona de estudio. (ver anexo n° 1).

Según el mapa en la zona el promedio de lluvias esta entre 839 y 1164 mm/m² lo que significa un buen estimativo teniendo en cuenta que las lluvias son el principal componente de la recarga hídrica para los acuíferos. La temperatura indica un bajo nivel de evaporación ya que el promedio es de 14°C.

1.4 RELIEVE.

Dentro del municipio de Paipa se reconocen hoy en día cuatro unidades genéticas de relieve, cada una conformada por dos o más paisajes geomorfológicos que guardan entre si relaciones de parentesco de carácter genético (mismo origen), morfológico y litológico generales. A continuación se describen entonces las diferentes unidades genéticas de relieve, con sus correspondientes paisajes:

1.4.1 Unidad de origen erosional-estructural

Es la unidad genética de terreno más extensa del municipio, integrada por la totalidad de las montañas altas del sector septentrional así como por la mayoría de las montañas bajas y lomas altas localizadas al sur de la cabecera municipal. Estas deben su morfología presente al plegamiento y fallamiento de las rocas sedimentarias del Jura-triásico, Jurásico, Cretáceo y Terciario, seguido de prolongados procesos de meteorización de esas rocas y de la denudación fluvioerosional y gravitacional de las alteritas resultantes, esculpiendo densas y profundas redes de drenaje, al punto de modificar y en muchos casos borrar, los rasgos estructurales originales. PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE PAIPA 57 Es así como cada paisaje definido en esta unidad genética exhibe hoy en día una morfología determinada, resultante del trabajo diferencial realizado por los agentes geomorfológicos sobre sus alteritas y suelos o, directamente sobre las rocas duras. 3.1.1 Cresta homoclinal degradada en arenisca cuarzosa: Este paisaje comprende las montañas mas elevadas del extremo septentrional de Paipa (norte y noroeste de el Venado) e igualmente aquellas de la cuchillas las Cruces, en el paso más alto de la carretera Paipa-Palermo. Sus rasgos estructurales han sido parcialmente modificados por una

disección subdendrítica profunda y algo densa en su ladera estructural, y por una disección paralela moderadamente densa y poco profunda en la contrapendiente. Las laderas son largas y con pendientes abruptas; las cimas son subredondeadas a redondeadas, al igual que algunos interfluvios y pequeños rellanos. En general, los mantos de meteorización son muy delgados, debido ello a la dureza de la roca y a las fuertes pendientes que favorecen el desgaste paulatino de los suelos. Este paisaje cubre 3010,68 ha.

1.4.2 Lomas anticlinal y homoclinal degradadas en arenisca.

Geoformas determinadas por plegamiento de estratos de arenisca cuarzosa de edad cretáceo y terciario, afectadas posteriormente por denudación parcial ya que aún es posible reconocer ciertos rasgos estructurales. Comprende tres unidades alargadas extendiéndose con rumbo aproximado norte-sur, una por el sector occidental, arrancando desde la orilla oeste del lago Sochagota hasta el límite con el municipio de Tuta; la segunda, corriendo por el centro de la región y la tercera, siguiendo por el borde oriental, en jurisdicción de la vereda El Chital. PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE PAIPA 59 El relieve apenas alcanza los 300 m de desnivel y se caracteriza por su topografía alomada con cimas amplias y redondeadas de variada pendiente, además de unas laderas regulares, moderada a fuertemente escarpadas, afectadas en varios sectores por erosión laminar y en surcos en gradi moderado. La escorrentía ha esculpido un patrón de drenaje subdendrítico a subparalelo de baja densidad y poca profundidad. Las alteritas varían de superficiales a moderadamente profundas, en función a la inclinación de las laderas El cubrimiento de la unidad alcanza las 2920,35 has.

1.4.3 Lomas homoclinales muy degradadas en arcillolitas limosas

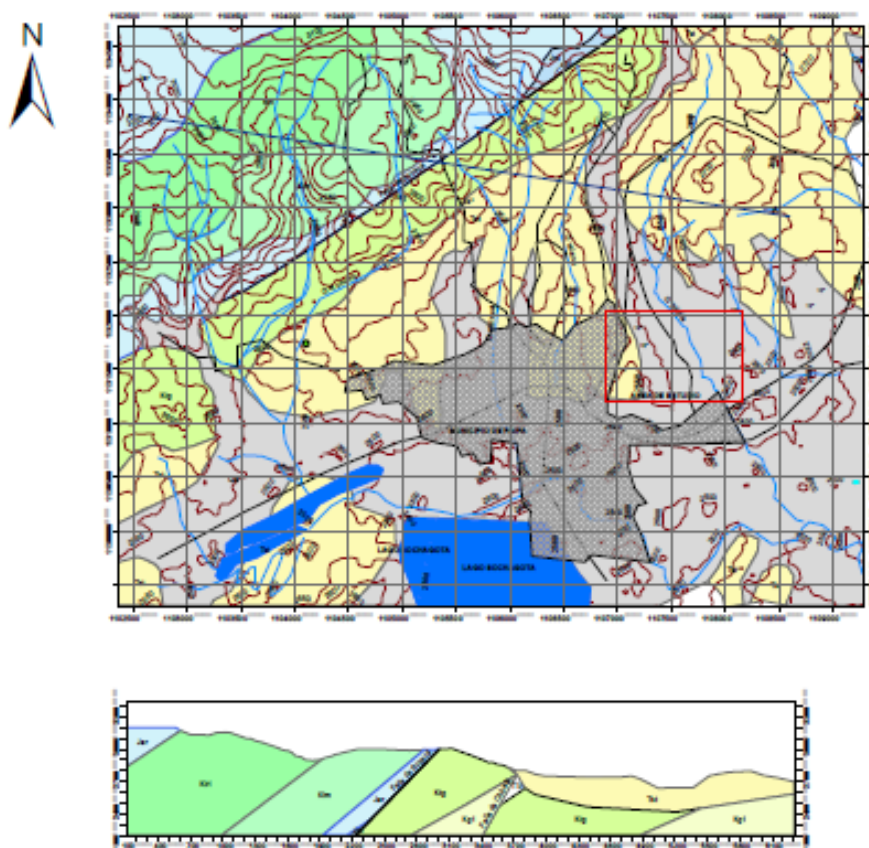
Este paisaje comprende cuatro pequeñas unidades dispersas, dos de ellas situadas al pie del escarpe de falla Boyaca y las dos restantes, localizadas en la vereda Rio Arriba y al sur de la vereda Canoas, respectivamente. Morfológicamente el paisaje se caracteriza por su topografía originalmente alomada, desarrollada en arcillolitas plegadas, posteriormente disectada por la escorrentía, proceso que generó luego colinas de cimas estrechas, entalladas por una red de drenaje dendrítica a subdendrítica. Los mantos de meteorización

varían entre moderadamente profundos y profundos. La extensión de la unidades se estima en 949,87 has. ⁴

2 GEOLOGÍA

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.

Figura 4. Mapa geológico regional tomado y modificado P.O.T del Municipio de Paipa.



Fuente. P.O.T. Municipio de Paipa. ⁵ (Ver Anexo 2)

2.1.1 Formación La Rusia

⁴ Plan De Ordenamiento Territorial PAIPA. 2000 EXPEDIENTE MUNICIPAL CARTOGRAFIA

⁵ Plan De Ordenamiento Territorial PAIPA. 2000 EXPEDIENTE MUNICIPAL CARTOGRAFIA

La Formación La Rusia, está constituida por intercalaciones de areniscas rojizas y blancas finas, areniscas conglomeráticas, y limolitas rojizas a verdes. Se calcula un espesor de 344 metros en la sección aflorante entre Palermo y Paipa. Su edad según Langenheim es Jurásica, post Liásico Superior.

2.1.2 Formación Arcabuco

La Formación Arcabuco, de ambiente de depositación continental, está constituida por areniscas cuarzosas blancas e intercalaciones de shales rojizos. Su espesor en la zona de estudio se estima en aproximadamente 520 metros. Se presentan buenos afloramientos en la carretera Paipa- Palermo. Su edad estimada es del Jurásico Superior.

2.1.3 Formación Ritoque

La Formación Ritoque posee su localidad tipo en la Quebrada Samacá, vecindad de Samacá (Boyacá). Está constituida por intercalaciones de limolitas amarillo-rojizas y calizas. Su espesor es de aproximadamente 80 a 110 metros. Esta unidad constituye el núcleo del Sinclinal de Los Medios presente parcialmente en el área del Municipio de Paipa. Su edad es estimada en el Cretáceo inferior con base en los estudios paleontológicos de Etayo, Julivert y Hubach.

2.1.4 Formación Los Medios

La Formación Los Medios está conformada por dos miembros cartografiables que se denominan Miembro conglomerático inferior (Kimi), y Miembro limolítico superior (Kims).

El Miembro conglomerático inferior está constituido por conglomerados, arenisca conglomerática y limolitas. Su espesor es de aproximadamente 120 metros.

El Miembro limolítico superior está compuesto esencialmente de limolitas, con algunas intercalaciones de areniscas y su espesor en el área es de aproximadamente 150 metros.

2.1.5 Formación Guaduas (KTg)

La Formación Guaduas constituye la transición del Cretáceo superior al Terciario, y está constituida por una secuencia de arcillolitas grises principalmente, areniscas friables y horizontes de carbón interestratificados. El espesor estimado es de 570 metros. Las exposiciones de la Formación Guaduas, al Norte de Paipa están perturbadas por efectos de la Falla de Boyacá.

2.1.6 Formación Bogotá (Tb)

Al Suroccidente de Paipa se exponen areniscas friables, arcillas rojizas a amarillentas correspondientes a la Formación Bogotá, de edad Paleoceno (Van der Hammen). Su espesor se estima en cerca de 250 metros.⁶

2.1.7 Formación Tilatá (Tst)

Esta unidad está ampliamente distribuida desde la Sabana de Bogotá y a lo largo del Altiplano Cundiboyacense hasta Duitama. En la zona aparece en las partes bajas cercanas al Lago Sochagota y con morfología suavemente alomada al E de La Casona, hacia la Vereda Cruz de Murcia. La unidad se compone predominantemente de niveles arenosos en capas medias a gruesas, intercaladas con limolitas y arcillolitas abigarradas. Las arenas son cuarzosas, bien seleccionadas, muy friables y de grano que varía de grueso a fino, redondeado a subredondeado. Son comunes los óxidos de hierro tanto en los niveles duros como blandos. Se presentan capas de lignito, explotados en la zona como carbón de regular calidad. La cartografía de la Formación Tilatá se hace en el sentido de Renzoni & Rosas (1983), incluyendo las gravas o niveles de conglomerados con matriz arenolimosa y líticos de areniscas, chert y cuarzo que conforman lomas redondeadas en la zona y que según Reyes (2001) hacen parte de una unidad más antigua. Renzoni (1981) calcula un espesor en el área de 150 m y reporta una edad del Plioceno a Pleistoceno calculada por Van Der Hammen a partir de palinología de muestras de lignitos.. Esta Formación yace discordantemente sobre unidades preexistentes.⁷

2.1.8 Depósitos Cuaternarios

⁶ Plan De Ordenamiento Territorial PAIPA. 2000 SUBSISTEMA BIOFISICO

⁷ VELANDIA, F INFORME TÉCNICO Cartografía Geológica Y Estructural Sector Sur Del Municipio De Paipa. Bogotá, Diciembre De 2003.

Estos depósitos se encuentran extendidos en la depresión que marca el nacimiento del río Chicamocha, incluyendo zonas bajas como la del Pantano de Vargas, Lago Sochagota y El Salitre al sur de Paipa. Se trata de depósitos de arenas, limos, arcillas y conglomerados correspondientes a la actividad más reciente de tipo aluvial, lacustre y fluvio-lacustre, los cuales estarían descansando en forma discordante sobre la Formación Tilatá.

2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La región de Paipa está caracterizada por dos provincias morfoestructurales contrastantes. Hacia el Norte de la Falla de Boyacá se destaca un bloque tectónico levantado en el cual se identifica el Sinclinal de Los Medios, y el Anticlinal de Arcabuco. Hacia el Sur de la Falla de Boyacá se observa un bloque tectónico deprimido de paisaje ondulado, correspondiente al llamado Bajo Estructural ó Depresión del Río Chicamocha. Mientras en el bloque norte se presentan estructuras plegadas amplias y básicamente constituídas por rocas del Jurásico y Triásico, en el bloque sur, es decir la Depresión del Chicamocha, son notorios los plegamientos cortos y estrechos, y estructuras plegadas volcadas por acción de gravedad.

2.2.1 Falla de Boyacá

La Falla de Boyacá es una falla fundamental de carácter regional, de tipo inverso, convergencia al NW y sobresale como un lineamiento de tendencia N45E. La falla afecta sedimentos antiguos Juratriásicos y rocas Cretácicas, y constituye una barrera natural que delimitó la sedimentación del Terciario en la Depresión del Río Chicamocha.

La Falla de Boyacá posee un trazo nítido en las fotografías aéreas, y presenta numerosas expresiones geomórficas y evidencias geológicas que confirman este accidente tectónico. Escarpes degradados de falla y un intenso brechamiento son comunes. En el sector de Paipa no se hallaron evidencias claras de actividad neotectónica, pero algunos indicios geomórficos sugieren actividad durante el Cuaternario.

2.2.2 Anticlinal de Arcabuco

El anticlinal de Arcabuco constituye un pliegue cuyo eje se orienta según tendencia N78E y afecta rocas Triásico-Jurásicas y Cretácicas. Su origen se asocia al levantamiento final Andino que dio lugar a la Cordillera Oriental en el Terciario. El pliegue es amplio y se extiende más hacia el Occidente, fuera del área; generalizando, el flanco Sur presenta aproximadamente 20 grados de buzamiento, mientras su flanco Norte presenta 15 grados de buzamiento. Su núcleo erosionado descubre rocas del Triásico y está caracterizado por valles fluviales relativamente profundos de los ríos Cuestanó y Chontal. (G.renzoni pl 171 Duitama)

2.2.3 Sinclinal de Los Medios

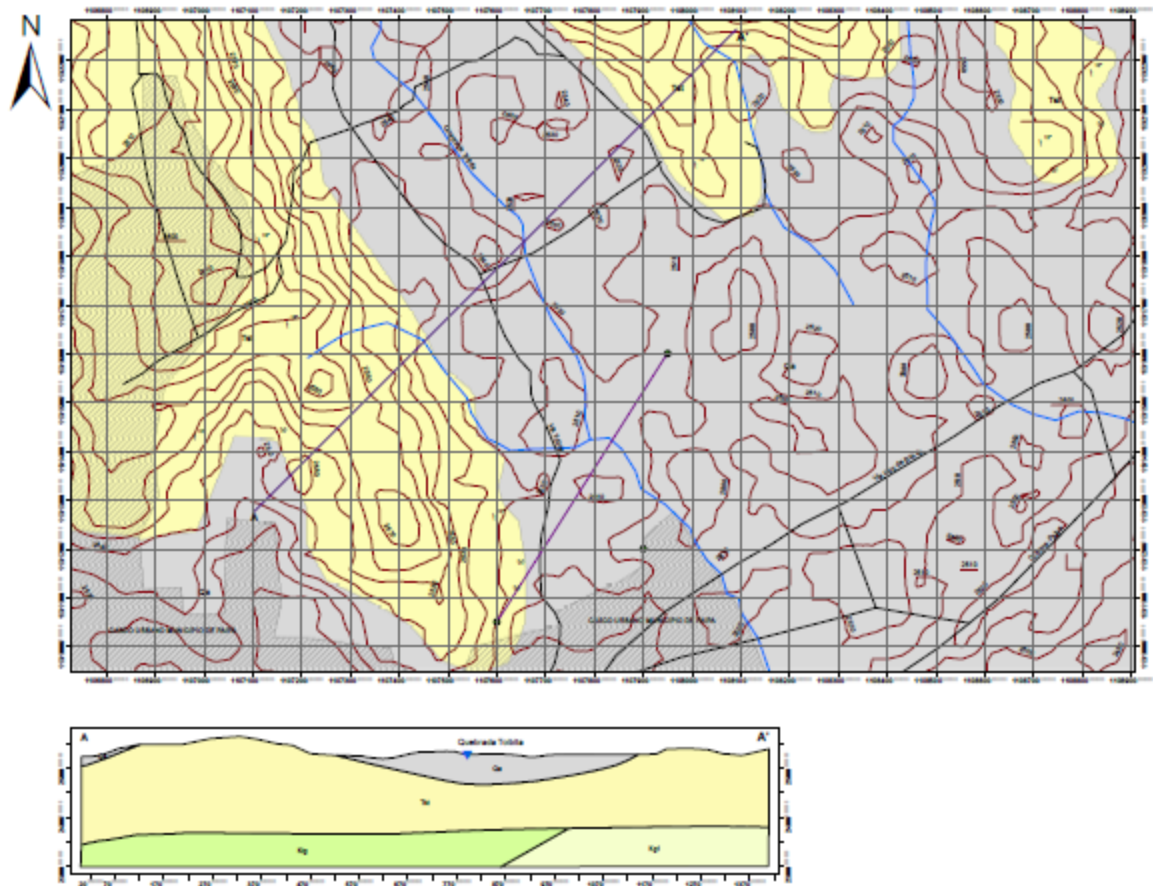
El Sinclinal de Los Medios es una estructura amplia de tendencia NE que parcialmente se identifica en el área. Es una estructura amplia con cabeceo al Oriente y que afecta unidades JuraTriásicas y Cretácicas. (G.renzoni pl 171 Duitama).⁸

2.3 GEOLOGÍA LOCAL.

El área de estudio se localiza al noreste del casco urbano del municipio de Paipa en la vereda Toibita, geológicamente se emplaza sobre la secuencia de formaciones que parte desde la F. Guaduas hasta las que le infra yacen estratigráficamente formando un contacto discordante angular (Renzoni y Rosas 1983). En la zona aflora la formación Tilatá pero en mayor proporción se encuentra el cuaternario aluvial, por tal razón la topografía es suave, los escarpes de la formación Tilatá tienen que ver con la actividad minera y la erosión por agentes atmosféricos.

⁸ VELANDIA, F INFORME TÉCNICO Cartografía Geológica Y Estructural Sector Sur Del Municipio De Paipa. Bogotá, Diciembre De 2003.

Figura 5. Mapa geológico local.



Fuente. Autor (Ver Anexo 4).

2.3.1 Perfil Geológico.

El perfil geológico muestra el contacto discordante entre la formación Tilatá y las formaciones Guaduas y Labor y Tierna este contacto se da por la deposición reciente de la formación Tilata; se observa también el depósito cuaternario aluvial con 60 metros de espesor aproximadamente.

2.3.2 Formacion Guaduas.

Aparece aflorando al noroeste de la zona de estudio, presenta estratos de arcillolitas compactas de colores amarillentos y grisáceos con una inclinación

promedio de 32° buzando al noroeste y haciendo contacto discordante al sureste con la formación Tilatá y al noroeste con la formación Arcabuco por medio de la falla de Boyaca.

Fotografía 1. Afloramiento F. Guaduas.



Fuente: Autor.

Este afloramiento se encuentra en cercanías a la falla de Boyacá y a la formación Arcabuco en la coordenada X=1106800, Y=1133871.

2.3.3 Formación Tilatá.

Se constituye de capas arenosas, arcillas, y ocasionales niveles conglomeráticos de matriz limoarenosa y arcillosa; se considera parte de depósitos post-andinos, por tal razón se infiere que yace discordante sobre la formación Guaduas que aflora al noroeste de la zona de estudio presentando contacto en superficie aproximadamente a dos kilómetros de distancia y la formación Labor y Tierna (Renzoni y Rosas 1983). En el área de estudio, la formación Tilatá presenta

estratificación con inclinaciones que varían entre 10° y 15° en su mayoría buzando al NE, ocasionalmente se aprecian los estratos con poca inclinación casi horizontales; la Formación Tilatá se evidencia con alto grado de meteorización en lugares expuestos a los agentes atmosféricos y alta susceptibilidad a la erosión, esto por la presencia de algunos abanicos aluviales recientes a lo que se suma los escarpes producidos en la actividad minera y que es una formación que aún no está muy consolidada por su corta edad.

Fotografía 2. Capa Arenosa F. Tilatá.



Fuente: Autor.

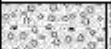
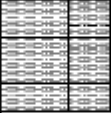
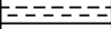

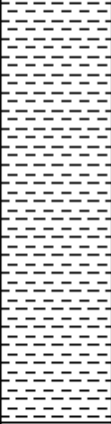
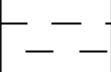


Fotografía 3. Material conglomerático F. Tilatá.



Fuente: Autor.

Figura 6. Columna estratigrafica levantada en afloramiento de la formacion tilata.

plano #3

ESTUDIO GEOLOGICO GEOFISICO PARA LA BUSQUEDA DE AGUAS SUBTERRANEAS Y PREDISEÑO DE UN POZO VEREDA TOIBITA PAIPA COLOMBIA		
COLUMNA ESTRATIGÁFICA UNIDAD AFLORANTE DE LA FORMACION TILATÁ PAIPA BOYACÁ COORDENADAS: X=1106979.387, Y=1131347.702. ALTITUD: 2550 MSNM.		
ESPESOR	LITOLOGÍA	DESCRIPCION
2 m.		Capa orgánica de suelo con raíces y grietas, en la parte inferior capa conglomeratica con gujarras y matriz limoarenosa.
4 m.		Argilolitas pardas arenosas con presencia de materia orgánica, presenta grietas por meteorización y erosión.
1 m		Argilolitas beige con intercalaciones carbonosas
3 m.		Argilolitas con esporadicas manchas carbonosas y óxidos de hierro presencia de pequeñas capas limosas .
15 m.		Argilolitas caolinificas blandas , amarillas, pardas, grises, anaranjadas y violáceas con óxidos de hierro presenta capas limosas alternando con capas arcillosas altamente meteorizada y erosionada por agentes climáticos.
3 m.		Argilolitas carbonosas amarillas, beiges, con óxidos de hierro y algunas arenas sueltas en la parte superior y en la mitad.
3 m.		Argilolitas arenosas pardas, y limos con óxidos de hierro, amarillas, poco compactas friables.
3.5m		Argilolitas con arena y limo conglomeraticas amarillas con fragmentos y cantos rodados varían entre 5cm y 10 cm de diámetro con poca compactación.
ELABORÓ: FABIO ANDRES VELANDIA NOSSA		

Fuente. Autor (Ver Anexo 5)

Fotografía 4. Afloramiento formación Tilata.



Fuente. Autor

2.3.4 Depósito aluvial.

Cuaternario compuesto por arenas de tamaño de grano variable, arcillolitas de color gris oscuro, limolitas y en algunos casos niveles conglomeráticos. Producto de la erosión aguas arriba de la quebrada Toibita y otros drenajes cercanos que presentan similar dirección de flujo que han arrastrado material de las formaciones guaduas, Tilatá, y al norte de la falla de Boyacá, las formaciones Arcabuco y la

Rusia formando el depósito de topografía relativamente plana de forma alargada paralelo a la corriente de las quebradas.

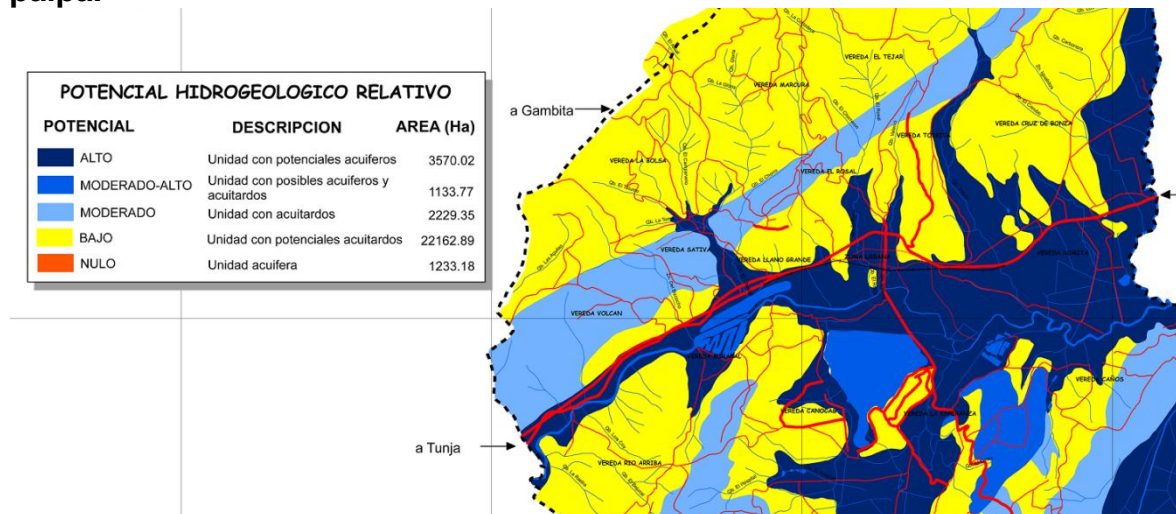
Fotografía 5. Depósito cuaternario aluvial.



Fuente. Autor.

2.4 HIDROGEOLOGÍA.

Figura 7. Mapa potencial hidrogeológico tomado del P.O.T. municipio de paipa.



Fuente. P.O.T. Municipio de Paipa ⁹

En el capítulo correspondiente se detallaron las características estratigráficas, litológicas y estructurales de la región de Paipa. A continuación se presenta una caracterización hidrogeológica cualitativa para cada una de las unidades geológicas cartografiadas. Se analizan las unidades desde el punto de vista de condiciones de porosidad, permeabilidad, disposición y potencialidad probable como reservorios de agua subterránea. (POT, Paipa) ¹⁰

2.4.1 Formación La Rusia

Compuesta de areniscas finas, areniscas conglomeráticas y limolitas. Conforma capas superiores del anticlinal de Palermo. La litología arenosa presenta alta litificación, baja permeabilidad y está dispuesta en capas alternantes. Favorabilidad muy baja.

2.4.2 Formación Arcabuco

⁹ Plan De Ordenamiento Territorial PAIPA. 2000 EXPEDIENTE MUNICIPAL CARTOGRAFIA

¹⁰ Plan De Ordenamiento Territorial PAIPA. 2000 EXPEDIENTE MUNICIPAL CARTOGRAFIA

La Formación Arcabuco está compuesta por areniscas cuarzosas e intercalaciones de shales. Las areniscas presentan porosidad buena. Disposición favorable en el Sinclinal de los Medios. Unidad de potencialidad baja puesto que no presenta disposición de capas infra y suprayacentes impermeables.

2.4.3 Formación Ritoque

Unidad constituida por limolitas y calizas. Dispuesta en el núcleo del Sinclinal de los Medios. La baja porosidad de calizas y limolitas no son favorables. Unidad de bajo potencial.

2.4.4 Formación Los Medios

Unidad compuesta en su miembro superior por conglomerados, areniscas conglomeráticas y limolitas. El miembro inferior está compuesto por limolitas principalmente. Características físicas desfavorables de porosidad y permeabilidad.

2.4.5 Formación Guaduas

Unidad con predominancia de arcillolitas con intercalación de areniscas y mantos de carbón. Las areniscas entre capas impermeables de carbón y arcillolitas sugieren posibilidad de acuíferos confinados. Esta Formación presenta aguas subterráneas detectadas en las explotaciones actuales de carbón. Potencial bajo a medio como reservorio de aguas subterráneas.

2.4.6 Formación Bogotá

La Formación Bogotá presenta importantes niveles de areniscas porosas, baja a moderada permeabilidad y baja transmisividad, constituyendo una unidad de potencial alto como acumulador de aguas pero con bajas posibilidades de explotación. Potencial general de la unidad bajo.

2.4.7 Formación Tilatá

Unidad con alternancia de gravas, arcillas, conglomerados y areniscas. Predominan las arcillas lo cual descarta la unidad como reservorio de buena potencialidad.

2.4.8 Depósitos aluviales (Cuaternario)

Estos depósitos constituidos por arcillas, limos y arenas constituyen depósitos heterométricos donde la predominancia de materiales determina una unidad no favorable para la acumulación de aguas subterráneas. Potencial general bajo.

2.4.9 Abanicos aluviales (cuaternario)

Unidad constituida por depósitos de baja consolidación incluyendo gravas, arenas y arcillas. La predominancia de gravas y arenas cuando se encuentran suprayaciendo arcillas sugieren buenas posibilidades de aguas subterráneas como acuíferos inconfiados.

2.4.10 Cuaternario sin diferenciar

Esta unidad está compuesta principalmente por depósitos de talud con mezcla de materiales heterométricos de arenas, gravas, bloques y arcillas. Calificación general baja como reservorios de agua subterránea.¹¹

3 EXPLORACIÓN GEOELÉCTRICA.

3.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

3.1.1 Fundamentos teórico-físicos del método SEV.

El principio en el que se basa este método consiste en interpretar los distintos materiales del subsuelo, a partir de las variaciones de la resistividad al paso de la corriente eléctrica. Y según la corriente sea generada y aplicada al suelo o

¹¹ Plan De Ordenamiento Territorial PAIPA. 2000 SUBSISTEMA BIOFÍSICO

provenza de fuentes existentes, habrá dos categorías de métodos: los de Corrientes Artificiales y los de Corrientes Naturales. A su vez, según el tipo de corriente que circule por el suelo, los métodos se subdividen en los de Corriente Continua y los de Corriente Alterna. Para este caso se aplica el método SEV que se realiza con corriente artificial.

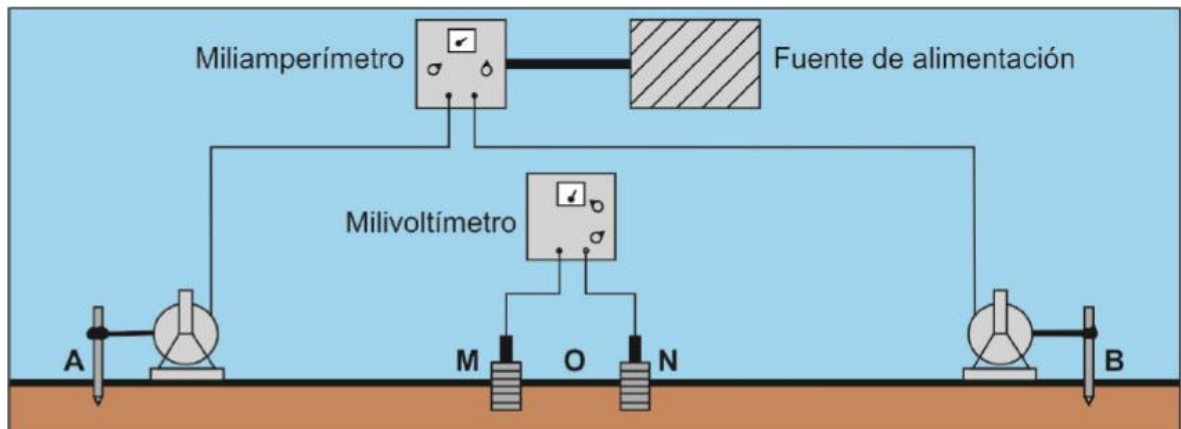
Las corrientes artificiales son provistas por generadores tipo baterías o por pequeños motores a combustión, que convierten la rotación en una corriente continua o alterna. Las corrientes naturales continuas tienen su origen en el fenómeno químico de Oxidación-Reducción y las alternas en la oscilación del campo magnético de la Tierra.

Si bien hubo experiencias de mediciones en el año 1830, puede considerarse como el inicio de las exploraciones geoelectricas recién en 1930 por parte del francés Schlumberger y el norteamericano Wenner. Desde esa fecha han venido mejorándose las técnicas y el instrumental, hasta lograrse una sólida base teórica que permitió desarrollar sofisticados programas de computadoras para interpretar los resultados.

El método geoelectrico es probablemente el más utilizado para investigaciones a poca profundidad y muy especialmente para la búsqueda de napas freáticas o reservorios de agua.

El equipo de campo más usado está diseñado para corrientes continuas artificiales. La corriente generada por una batería se transmite a través de cables aislados dispuestos sobre el suelo, y en sus extremos se conectan a electrodos (varillas de cobre o acero) que se clavan para cerrar el circuito eléctrico. Con otros dos electrodos independientes se mide la tensión resultante a través de un voltímetro.¹²

Figura 8. Equipo de campo.



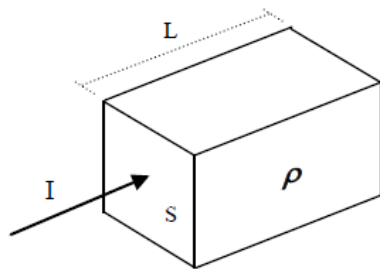
¹² ESTRADA, LUIS A., *Geofísica – FACET – UNT – Prospección Geoelectrica para Ingenieros. Tucuman, Argentina 2012.*

Fuente: Estrada. L. 2012.

3.1.2 Propiedades eléctricas de las rocas.

La **Resistividad** es la propiedad más importante. Se define como la resistencia medida en Ohmios entre dos caras opuestas de un cubo de material con dimensiones unitarias. Si llamamos **R** a la resistencia, **L** a la longitud y **S** al área de las caras, la **Resistividad ρ** viene dada como

Figura 9. Propiedades electricas.



$$\rho = RS/L$$

La unidad para ρ es el **Ohmio-metro (Ωm)**.

La ley fundamental en que se basa toda la geoelectrica es la Ley de Ohm, mediante la cual se relaciona el Potencial Eléctrico V (Tensión o Voltaje) con la Intensidad de Corriente I y la Resistencia R del medio por el cual circula la corriente.¹³

$$V = IR$$

La Conductividad es la inversa de la Resistividad. Se distinguen dos clases de conductividad: La metálica o electrónica, que es la que tienen todos los materiales metálicos que pueden transportar electrones, como la Pirita, la Galena, el Sulfuro de Cobre, la magnetita, etc. La electrolítica es la que se presenta en minerales y rocas aislantes (arenas cuarzosas o areniscas) que conducen la electricidad a través del agua de impregnación que llena los poros. En este caso la corriente se da por circulación de iones, y la conductividad es función de la cantidad de agua y de sales ionizadas disueltas en ella. Concretamente, dependerá de los siguientes factores:

- 1) De la proporción en volumen de huecos o Factor de Porosidad;
- 2) De la disposición geométrica de los poros o Factor de Formación;

¹³ ESTRADA, LUIS A., *Geofísica – FACET – UNT – Prospección Geoelectrica para Ingenieros. Tucuman, Argentina 2012.*

- 3) De la proporción en que los poros están llenos de agua o Factor de Saturación, y
4) De la resistividad del agua que contiene, dependiente a su vez de las sales disueltas.¹⁴

3.2 Metodología de los trabajos con sev.

Para hacer un sondeo con el arreglo Schlumberger, la distancia entre los electrodos de corriente (A y B) se aumenta a partir del centro del dispositivo, como una sucesión de incrementos logarítmicos casi iguales (usualmente a la rata de 6 puntos por década), y la resistividad aparente es calculada en cada espaciamento de electrodos por medio de una ecuación que calcula este parámetro.

La distancia entre los electrodos de potencial (M y N), se mantiene fija para una serie de espaciamentos sucesivos de los electrodos de corriente (A y B). Este espaciamento se interrumpe periódicamente, luego, la distancia entre los electrodos de potencial se aumenta, y la resistividad aparente se recalcula en este punto o empalme, para luego continuar expandiendo los electrodos de corriente.

El propósito de aumentar periódicamente la distancia entre los electrodos de potencial es para mantener un adecuado nivel de señal (milivoltios) entre los electrodos M y N, que sea significativa para calcular la Resistividad aparente.

La condición que $(AB/2)$ sea más grande que, o igual a 5 veces $(MN/2)$ se debe mantener para aproximarse adecuadamente a la medición del campo eléctrico (que es el gradiente del potencial eléctrico) al centro del arreglo de electrodos.

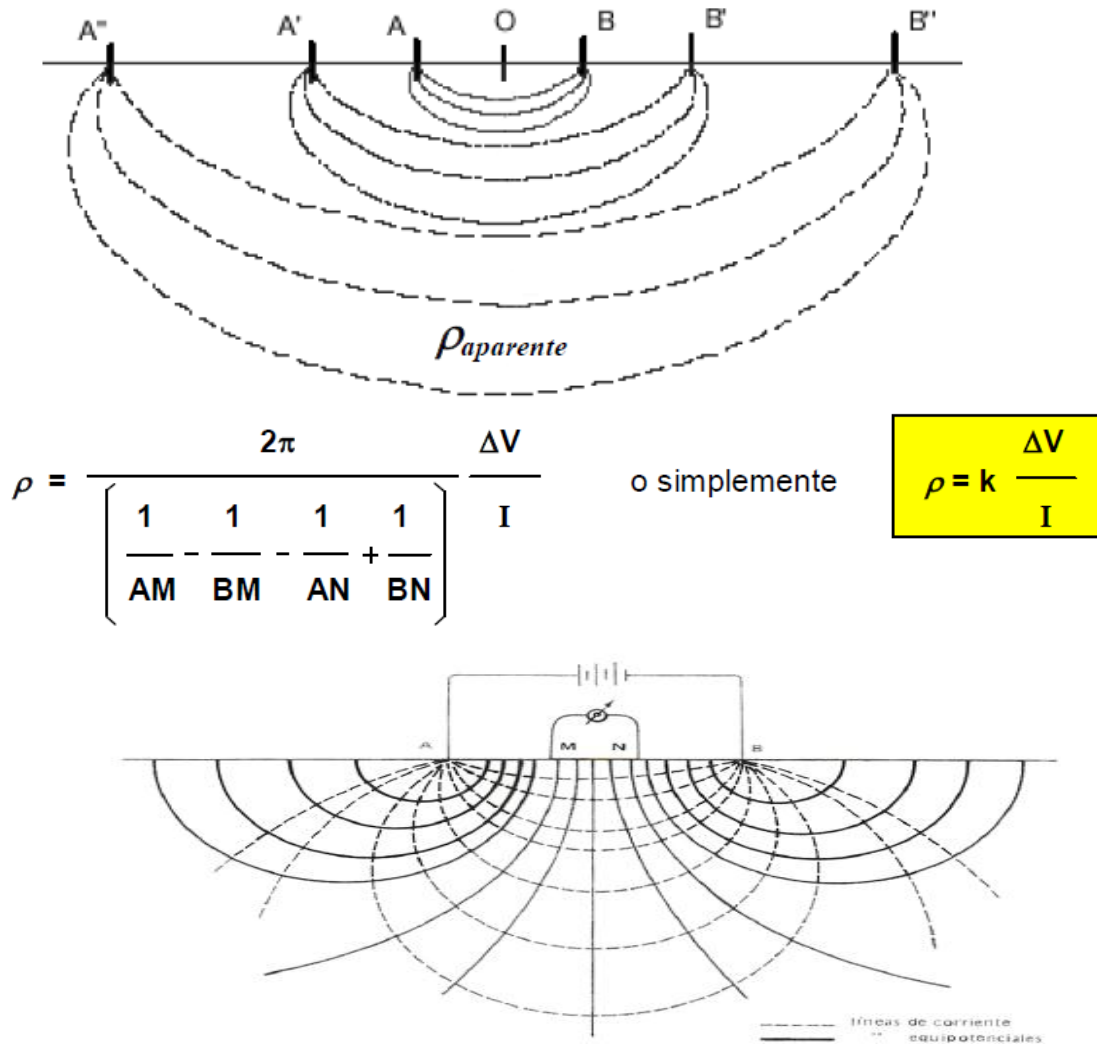
Al graficar los valores de Resistividad aparente contra el espaciamento de los electrodos de corriente $(AB/2)$, en una escala log-log se obtiene la curva del sondeo.

En la práctica, una curva de campo de un sondeo con arreglo Schlumberger, se compone de dos o tres segmentos, dependiendo del máximo espaciamento de los electrodos de corriente. Algunos de los segmentos pueden no coincidir a causa de la variación en la profundidad de investigación, resultante de cambiar la relación AB/MN en el extremo de uno de los segmentos, o más comúnmente, por causa de cambios laterales (fallas, cambios en litología, cavernas, etc.).¹⁵

¹⁴ ESTRADA, LUIS A., Geofísica – FACET – UNT – Prospección Geoeléctrica para Ingenieros. Tucuman, Argentina 2012.

¹⁵ OTERO, J.A. *ESTUDIO REALIZADO PARA ESTABLECER LA EXISTENCIA DE RECURSOS DE AGUA EN EL SUBSUELO. La Mesa 2012*

Figura 10. Arreglo schumberger.



Fuente. Estrada Luis A. Geofísica para Ingenieros.¹⁶

En la fotografía 3 se muestra un resistivímetro y un energizador marca DIAPIR VP, con sus accesorios, se obtuvieron tres datos de diferencia de potencial ΔU (mV) e

¹⁶ ESTRADA, LUIS A., Geofísica – FACET – UNT – Prospección Geoeléctrica para Ingenieros. Tucumán, Argentina 2012.

intensidad de corriente I (ma) en cada punto de observación, los cuales se muestran en los anexos. (Ver anexo 6).

Fotografía 6. Equipo para la toma de datos

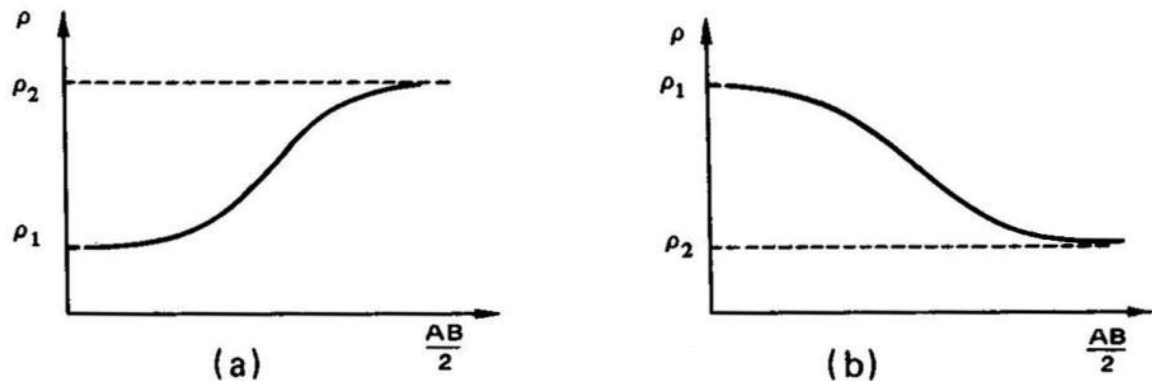


Fuente. Autor.

3.3 PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE DATOS.

En un sondeo eléctrico vertical ocurre lo mismo que con las velocidades de propagación de las ondas en el método de reflexión, la resistividad de la primera capa o sustrato superficial es verdadera, pero después de la primera interfaz la resistividad obtenida es la resultante o valor medio de las correspondientes a todas las capas por donde circula la corriente. Por ello se le llama **resistividad aparente ρ_a** . No obstante, queda claro que cuando la separación **AB** es pequeña, **ρ_a** tiende a **ρ_1** , la resistividad verdadera de la primera capa y cuando **AB** es grande, **ρ_a** tiende a **ρ_n** , la resistividad verdadera de la última capa. La forma de las curvas ya provee información sobre la cantidad de estratos en cuestión, pues cada cambio importante de pendiente o los máximos y mínimos, implican distintos estratos. Para un modelo de subsuelo de dos capas geoelectricas tendremos una de este tipo o forma de curva:

Figura 11. Curva de dos capas.



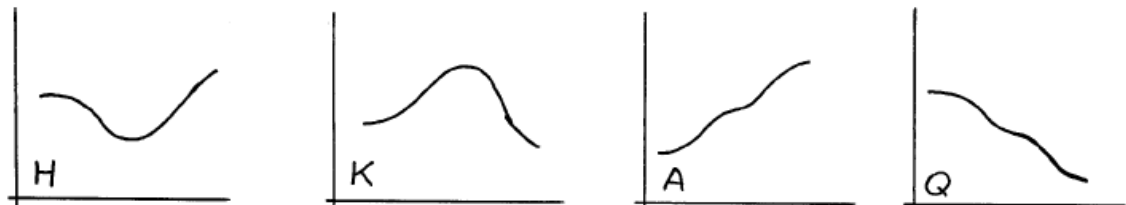
Fuente. Estrada Luis A. Geofísica para ingenieros¹⁷

La interpretación consistirá entonces en comparar la curva de ρ_a en función de $\frac{AB}{2}$ (Schlumberger) con un juego de curvas teóricas, siempre que estas y las de campo tengan el mismo número de capas, dispositivo electródico y módulos logarítmicos.

Cuando se utiliza el dispositivo de Schlumberger para el arreglo de campo, el procedimiento es el mismo, pero las curvas patrones deberán ser las correspondientes a este arreglo.

Las curvas patrón más conocidas para tres capas son: **Tipo H** ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$), **Tipo K** ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$), **Tipo A** ($\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$) y **Tipo Q** ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$) son las siguientes:

Figura 12. Curvas de tres capas.



Fuente. Estrada Luis A. Geofísica para geólogos¹⁸

¹⁷ ESTRADA, LUIS A., Geofísica – FACET – UNT – Prospección Geoeléctrica para Ingenieros. Tucumán, Argentina 2012.

¹⁸ ESTRADA, LUIS A., Geofísica – FACET – UNT – Prospección Geoeléctrica para Ingenieros. Tucumán, Argentina 2012

Como resultaba muy complicada la interpretación de más de dos capas, se desarrolló la técnica de macheo parcial. El método consiste en resolver las dos primeras resistividades ρ_1 y ρ_2 y la profundidad z_1 con las curvas maestras de dos capas, para luego reemplazarlas por una capa ficticia equivalente de ρ_f y z_f . Esta capa ficticia pasa a ser la nueva capa superficial en la interpretación del segundo segmento y así sucesivamente. Para esto se usa también una curva auxiliar, conocida como el método del punto auxiliar. Esto tiene una sola limitación, que es el hecho de que el espesor de cada capa sucesiva debe ser mayor que el espesor total de las capas superiores.

La interpretación se realiza ploteando las curvas en una escala logarítmica, y se determina el número de capas; haciendo la interpretación en el software ipi2win se introducen las tablas de datos de cada SEV y éste procesa los valores de las tablas y muestra finalmente las curvas con sus respectivos espesores y resistividades.¹⁹

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE SEV Y MODELOS GEOLÓGICO-GEOFÍSICOS (Ver Anexo 7).

Tabla 1. Tabla de valores de la resistividad en el área de estudio.

Resistividad (ohm*m)	Correlación litológica
0-70	Intercalaciones de arcillolitas y Areniscas saturadas
70-120	Arcillolitas, limos
120-300	Areniscas arcillosas
>300	Areniscas, gravas, conglomerados

4.1.1 SEV1

Como se puede observar los datos de este SEV presentan grandes saltos de la resistividad en la curva, para cual el porcentaje mínimo de error que se pudo obtener fue del 18%, esto puede obedecer a un gran cambio en la resistividad

¹⁹ ESTRADA, LUIS A., *Geofísica – FACET – UNT – Prospección Geoeléctrica para Ingenieros. Tucumán, Argentina 2012.*

debido a la presencia de agua en la roca sondeada lo que hace que baje de 337 hasta menos de 8 ohm por metro. La curva se interpreta tomando como referencia observaciones del área, y la columna estratigráfica que se levantó en un afloramiento de la formación Tilatá sobre la cual se realizó el sondeo, y la columna estratigráfica regional del municipio de Paipa, dando como resultado que la primera capa presenta un espesor de 14 metros y una resistividad aparente de 309 ohm*m y se relaciona a una capa de arenas y conglomerados formación Tilatá; la siguiente capa presenta una resistividad aparente de 7.43 ohm*m y un espesor de 89.9m que se asocia a intercalaciones de areniscas y arcillolitas de la base de la formación teniendo en cuenta que los niveles arenosos se encuentran saturados.

4.1.2 SEV 2

La curva del SEV 2 muestra tres capas, las dos primeras con resistividades aparentes de 210 y 365 ohm*m respectivamente se asocian con materiales arcillosos, arenosos y limosos secos del depósito cuaternario aluvial con un espesor total de 51m; la tercera capa presenta un espesor de 148 m y su resistividad aparente de 72 ohm*m se relaciona con la formación Tilatá y sus capas arcillosas-arenosas saturadas;

4.1.3 SEV 3

Esta curva muestra 5 capas, la primera con resistividad aparente 376 ohm*m y 1.76m de profundidad relacionada con gravas y arenas, seguida de la segunda, con 77.9 ohm*m, ésta se asocia con la capa de arcillas y arenas saturadas perteneciente al depósito cuaternario, más abajo se aprecia la capa con 312ohm*m y un espesor de 39.6 m asociada a gravas y arenas del depósito cuaternario. La cuarta capa se relaciona con areniscas saturadas y arcillolitas de la formación Tilata con un espesor de 140m y por ultimo una resistividad de 129 ohm que podría ser de la f. guaduas o Bogotá.

4.1.4 Descripción del corte geológico-geofísico. (Ver Anexo 8)

Este corte geológico-geofísico parte de un perfil topográfico de la línea recta que toma la alineación de los puntos donde se realizaron los sondeos eléctricos verticales y muestra la correlación de las capas estratigráficas con la resistividad aparente en ohm*m y espesor en metros, fruto de la interpretación de cada una de

las curvas. La posición y profundidad de las capas se determinó teniendo como base la columna estratigráfica levantada en un afloramiento cercano al lugar del primer sondeo, observaciones del área de estudio, toma de datos de campo y anteriores trabajos relacionados con geología y cartografía geológica de la zona y alrededores.

Se puede ver en el corte que la formación Tilatá aflora al extremo izquierdo del mismo y que en la parte central se encuentra el depósito cuaternario aluvial. Teniendo en cuenta los espesores arrojados en la interpretación, el promedio de profundidad de la formación Tilatá es de unos 140 metros, y una inclinación mínima de sus capas oscilando entre 5° y 15° al NE, al depósito cuaternario se le asigna una profundidad promedio de 50 metros. Más a profundidad, encontramos otra capa saturada en la parte superior de la formación Tilatá que podría corresponder a arenas permeables donde se acumula agua. Mas a profundidad se aprecia una capa arcillosa por su resistividad de 97.8 ohm*m, que se correlaciona con arcillolitas y cherts como aparece en la columna estratigráfica regional.

4.1.5 Ubicación del pozo.

Al hacer un análisis cualitativo y cuantitativo con base en la interpretación de los SEV, también de las litologías que se pueden presentar a profundidad y determinar que sean favorables desde el punto de vista hidrogeológico, se propone el lugar más viable para realizar el pre diseño de un pozo profundo para extracción de aguas subterráneas teniendo en cuenta factores como accesibilidad al lugar, comodidad para el traslado de los equipos de perforación, recursos económicos, entre otros que puedan intervenir, de modo que la perforación y la posterior extracción de agua sea rentable desde todos los puntos de vista, claro está que lo más importante es tener claridad donde son las zonas que pueden presentar un acuífero apto para ser explotado, y aplicar lo anterior. En este estudio se presenta como el sitio más favorable para realizar un pozo exploratorio un punto cercano a donde se realizó el sev 1 dado que la resistividad aparente en este sondeo tuvo valores muy bajos aproximadamente a unos 20 metros de profundidad lo que lo convierte en una zona de alto potencial hidrogeológico, ya que está sobre la formación Tilatá, la cual presenta estratos arenosos intercalados con arcillas y niveles conglomeráticos lo que podría significar acuíferos con buena porosidad y permeabilidad, también con porosidad secundaria por fracturas y grietas en las capas arcillosas y limosas.

5 PRE DISEÑO DE UN POZO PROFUNDO.

5.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

DISEÑO FÍSICO DE POZOS

El diseño de los pozos tubulares está sustentado en el conocimiento de las características hidrodinámicas del acuífero sobre el cual se construirá un pozo que permita prever de agua en términos económicamente rentables. Por consiguiente la decisión de perforar un pozo estará sujeto a los resultados obtenidos en el estudio hidrológico, geofísico, prueba de pozo, análisis de las características del material encontrado durante la perforación, análisis de la calidad de agua y finalmente el caudal máximo permisible a explotarse mediante el pozo sin que altere las condiciones medioambientales del acuífero y de su entorno. (Deago Adriano 2013UTP).

Los factores a tomarse en cuenta para el diseño de pozo son:

Diámetro y longitud de la entubación ciega

Diámetro y profundidad de la perforación

Necesidad o no de prefiltro de grava. Diseño del mismo

Diseño de la rejilla o filtro.

Figura 13. Diámetros de pozos recomendados (Según E. E. Johnson, 1966)

Rendimiento del pozo Previsto (l/s)	Diámetro Nominal de la bomba (")	Diámetro óptimo de la entubación (")	Diámetro mínimo de La entubación (")
Menos de 6	4	6 DI	5 DI
5 a 11	5	8 DI	6 DI
10 a 25	6	10 DI	8 DI
22 a 41	8	12 DI	10 DI
40 a 57	10	14 DI	12 DI
53 a 82	12	16 DI	14 DE
75 a 114	14	20 DI	16 DE
100 a 190	16	24 DI	20 DE

Fuente. DEAGO, A. Diseño Y Construcción De Pozos De Agua²⁰

²⁰ DEAGO, A. *Diseño Y Construcción De Pozos De Agua Universidad Tecnológica De Panama*. 2013.

Diámetro del Pozo:

El diámetro a diseñar incluye dos sectores: el sector superior que alojará a la bomba y el sector inferior, por debajo del máximo nivel dinámico o nivel de bombeo o debajo de la máxima longitud de la bomba.

Es decir que el gasto necesario del pozo y su capacidad específica más un cierto margen de seguridad por menor eficiencia del pozo, eventuales interferencias, o bombeo continuo, definen la máxima profundidad de la bomba a instalar.

Si se conoce el tiempo y características de la bomba a instalar puede entonces conocerse el diámetro exterior del cuerpo de bomba o tazonos. Luego, el diámetro mínimo interior de la entubación pasa a dos pulgadas (2") adicionales y el diámetro máximo económico de cuatro pulgadas (4") más que el diámetro exterior de los tazonos.

Cuando no se ha definido previamente la marca de la bomba, debe operarse dentro de ciertos límites ya conocidos para distintas bombas, a fin de permitir su instalación y funcionamiento sin problemas. (Deago Adriano 2013UTP).

Diámetro del pozo a perforar

Para revestimiento con cemento en el sector superior, se acostumbra incrementar como mínimo 50 mm (2") respecto del diámetro exterior de la entubación. Para pozos que se utilizarán en el abastecimiento poblacional e industrial el incremento es de 100 mm (4").

Diseño de la Rejilla

La rejilla es un elemento de importancia en el diseño de un pozo sus características guardan una estrecha relación con los parámetros hidráulicos del acuífero.

En los pozos que captan agua de acuíferos no consolidados se requiere un filtro de características variables a determinar que satisfaga los requerimientos de: i) sirva como estructura soporte de la formación acuífera; ii) impida el paso de arena; iii) permita la circulación del agua hacia el pozo a baja velocidad y con la máxima capacidad específica.

En los acuíferos consolidados, rocosos, el pozo perforado deja caras libres a las grietas, por donde fluye el agua; no se requiere estructura filtrante.

Pre filtro de grava

El metal de la Rejilla esencialmente depende de: Composición química del agua, Presencia de limos bacterianos, Necesidades de resistencia a la compresión por las paredes del acuífero al bombear o por el peso de la otra tubería y esfuerzos de tracción al colocarlo o extraerlo para mantenimiento.

El metal ha de ser resistente a agentes incrustantes, bacterias que atacan el hierro y ácidos usados para limpieza y desinfección. Además se debe tener en cuenta aspectos relacionados al desarrollo del pozo, prefiriendo siempre un desarrollo natural a un artificial aspecto de protección sanitaria del pozo, en cuanto a evitar su contaminación y considerar la desinfección del mismo y aspectos relacionados al control y vigilancia o supervisión de la obra de modo de cumplir una eficiente captación.

Ubicación y longitud del filtro (rejilla)

La ubicación y longitud óptima del filtro o rejilla se decide en relación con el espesor del acuífero, abatimiento estimado y estratificación del acuífero. En un acuífero libre se obtiene el mayor rendimiento y la instalación más económica de un filtro para el tercio inferior del acuífero. En acuíferos heterogéneos, confinados o libres, cuando el estrato menos permeable está superpuesto al más permeable, conviene prolongar el filtro de menor abertura dentro del acuífero más permeable para evitar producción de arena por corrimiento del estrato de menor granulometría. En acuíferos confinados homogéneos de poco espesor se puede ubicar un filtro en forma centrada que cubra el 50 al 80 % del espesor del acuífero para este caso se obtiene el mayor rendimiento hidráulico y económico.

Diámetro y longitud de la entubación ciega

Se llama también tubería forro, tiene como propósito el de servir de soporte a las paredes del pozo. Generalmente en este tramo va colocada la bomba, otra función que cumplir es el sellado de capas acuíferas. Para determinar el diámetro de la tubería ciega existen Cuadros en función del gasto esperado.

La longitud de la tubería ciega, viene dado por el tipo de acuífero y la profundidad de los estratos permeables. En el diseño de la tubería forro se deberá tener en

cuenta la resistencia del material a la compresión, que puede originar las paredes del hueco por derrumbes y otras causas.²¹

Diámetro y profundidad de la perforación

Este viene dado por el diámetro de la tubería ciega que se piensa instalar, así mismo influye el método de perforación utilizado y el destino o uso que se le va a dar al agua extraída del pozo. Se considera un incremento de 5 cm. como incremento de radio si se trata de pozos para riego, para el caso de abastecimiento poblacional el incremento de radio es de 10 cm.

El diámetro puede ser variable o igual para toda la profundidad cuando el diámetro es variable en los estratos superiores es mayor o menor hacia el fondo.

Necesidad o No de Pre filtro

El diseño del pre filtro de grava se establece sobre la base de la información granulométrica de los materiales recopilados durante la perforación.

Pozos Perforados: Son contruidos con barrenos o “augers” de forma manual o con maquinaria. Estos pozos son relativamente efectivos en materiales de baja conductividad hidráulica y en áreas con capas finas de limo y arcilla. (deago Adriano 2013)²²

5.2 PRE DISEÑO DE UN POZO.

En el pre diseño de este pozo se tiene en cuenta el estudio geológico-geofísico y un análisis de las estructuras geológicas y su potencial hidrogeológico con el fin de establecer el mejor sitio para la perforación y sacarle el mejor provecho.

Se estima una profundidad total de 30 metros para la primera fase que consiste en llegar hasta esa profundidad experimentando las capacidades del pozo, es

²¹ DEAGO, A. *Diseño Y Construcción De Pozos De Agua Universidad Tecnológica De Panamá.* 2013.

²² DEAGO, A. *Diseño Y Construcción De Pozos De Agua Universidad Tecnológica De Panamá.* 2013.

decir una fase exploratoria, que dará como resultado la decisión de seguir avanzando en la perforación o culminar en ese punto. (Ver Anexo 9).

Se escoge esta profundidad ya que la resistividad aparente a estas profundidades es baja y se asocia con la presencia de acuíferos y también debido a que la formación que sería perforada en principio posee intercalaciones de arenas y arcillas lo que puede significar acuíferos confinados de buen potencial y aptos para ser explotados.

En el pre diseño de este pozo se requiere de 15 metros de tubería ciega pvc de 8" que van desde el nivel del terreno hasta la zona de baja resistividad, atravesando estos 15 metros el pozo tendrá un encamisado con cemento en las paredes para evitar derrumbes y controlar las presiones de la roca sobre la tubería, luego de este punto se determina que se instala un pre filtro de gravilla entre la tubería ranurada y las paredes del pozo para generar permeabilidad y que el acuífero aporte el agua a la tubería; para este nivel del pozo se requieren 10 metros de tubería de 8" con rejillas y 1 m³ de gravas para el filtro en el espacio anular del pozo, luego del filtro al fondo del pozo estará una tubería ciega en acero o PVC con un revestimiento de cemento en el espacio anular y así crearle un fondo colmatable que reciba los sedimentos que puedan caer al pozo y este no se tapone con sedimentos en el filtro. La fuente de presión que lleve el agua a superficie es una electrobomba que proporcione un caudal aproximado de 20 litros por segundo que es un flujo apropiado para el diámetro de la tubería. De no ser grande la cantidad de agua explotable hasta ese nivel, se recomendaría profundizar más, ya que el espesor de la capa prospectiva es de 89.9 m. aproximadamente.

5.2.1 Costos.

Los costos de la construcción del pozo se calculan con base en los precios que se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Costos.

ARTICULO	CANTIDA D	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL.
TUBERIA PVC 8" *6M	3	769000	2307000
TUBERIA RANURADA PVC 8"*6M	2	1300000	2600000
TUBERIA E ACERO	2	2000000	4000000
ACOPLES PARA TUBERIA	14	100000	1400000
ELECTROBOMBA	1	1000000	1000000
GRAVILLA	3	300000	900000
CEMENTO	5	600000	3000000
TAPONES	2	150000	300000
PERSONAL	5	300000	1500000
ALQUILER YTRANSPORTE DE EQUIPOS	2	300000	600000
PERFORACION	30	300000	9000000
ESTUDIO GEOFISICO GEOLOGICO	1	5000000	5000000
OTROS MATERIALES	1	3000000	3000000
ANALISIS DE MUESTRAS	30	100000	3000000
VALVULAS	5	100000	500000
		TOTAL	38107000

Fuente. Autor.

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este estudio la información geológica y geofísica del municipio de Paipa más exactamente de la vereda Toibita ha tenido un aporte y puede ser tomado en cuenta en futuros estudios en el área de tipo geológico, geofísico e hidrogeológico.

Se determinaron los rasgos geológicos más relevantes para realizar un estudio geofísico para el pre diseño de un pozo de extracción de agua subterránea.

En el área de estudio se determinó por medio de tres sondeos eléctricos verticales la disposición de las capas del subsuelo hasta una profundidad aproximada de 200 metros, dando como resultado la interpretación de las curvas del método SEV (pa vs AB/2) de cada sondeo realizado.

Los resultados obtenidos en la interpretación de las curvas de los SEV's y el análisis de la zona de estudio en general, se utilizaron para determinar la zona de mayor viabilidad para el pre diseño de un pozo profundo para extracción de aguas subterráneas.

Se propone una zona en este estudio para el pre diseño de un pozo profundo para la extracción de aguas subterráneas teniendo como base los resultados del estudio geológico geofísico, y de los rasgos de la zona como lo son accesibilidad costos.

La zona en la cual se propone construir el pozo para extracción de aguas subterráneas se encuentra sobre la formación Tilatá debido a la baja resistividad que presentó el SEV 1 en la segunda capa y que la convierte según el estudio geológico-geofísico en el lugar más adecuado, a pesar de que en el mapa hidrogeológico y el POT de Paipa, esta formación es de bajo potencial hidrogeológico.

RECOMENDACIONES

El estudio realizado puede ser complementado y mejorado con información de otros métodos geofísicos, como tomografías eléctricas, sísmica, entre otras con el fin de realizar las debidas comparaciones y tener mayor certeza de la geología a profundidad.

El pre diseño del pozo está sujeto a cambios por tal razón es necesario que una perforación sea determinante al momento de diseñar el pozo definitivo.

BIBLIOGRAFÍA

DEAGO, A. Diseño Y Construcción De Pozos De Agua Universidad Tecnológica De Panamá. 2013.

ESTRADA, LUIS A., Geofísica – FACET – UNT – Prospección Geoeléctrica para Ingenieros. Tucumán, Argentina 2012.

FLOREZ , A, L., Prospección geoeléctrica para la exploración de aguas subterráneas en la vereda Guinita, municipio de Oicatá, Boyacá. 2001.

FONSECA, B. F., MONGUI, D., AMADO, L. Caracterización Geológico- Geofísica De Litologías En El Sector Centro Y Norte De Boyacá Y Maní, Casanare, Colombia.

GOMEZ, J.C. Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica E Isótopos, Como Herramientas Para Definir Un Modelo Conceptual hidrogeológico, Caso De Aplicación: Acuífero Costero Municipio De Turbo. 2012.

INGEOMINAS, Estándares Cartográficos Y De Manejo De La Información Grafica Para Mapas Geológicos Departamentales Y Planchas A Escala 1:100000. Bogotá. 2001.

LARGO, C, S., COMBARIZA, F, S. Investigación hidrogeológica de Tunja, Duitama y aguas termominerales de Paipa, Sogamoso, 2013.

MORENO, M., FECHI, Y. Geología y Geomorfología planchas 171-191 tunja. 2008.

Plan de ordenamientos territorial Paipa Boyacá.

OTERO, J.A. ESTUDIO REALIZADO PARA ESTABLECER LA EXISTENCIA DE RECURSOS DE AGUA EN EL SUBSUELO. La Mesa 2012.
Productos Y Servicios Hidráulicos, S. A. De C. V. Manual Pozos Profundos De Agua.

RENZONI, G., Geología del Cuadrángulo J-12 Tunja. Boletín Geológico. 1981.
RENZONI, G., ROSAS, H., Mapa Geológico Plancha 171-Duitama. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá. 1983.

ROJAS, M., LIZARAZO, P. Cartografía geológica y caracterización del yacimiento de carbón localizado en el sector la Trinidad - municipios de Paipa y Duitama, departamento de Boyacá. 2007.

SANCHEZ, F.J. Prospeccion Geofísica Sondeos Eléctricos Verticales. Salamanca España <http://diarium.usal.es/javisan/hidro>.

VELANDIA, F INFORME TÉCNICO Cartografía Geológica Y Estructural Sector Sur Del Municipio De Paipa. Bogotá, Diciembre De 2003.

ANEXO 6 TABLAS DE DATOS SEV

SEV 1									
MN/2 (m)	AB/2 (m)	I(Ma)			$\Delta U(mV)$			K(m)	$\phi a(\Omega m)$
		1	2	3	1	2	3		
1	3.2	139	139	141	2244	2742	2746	14.51415806	267.8364442
1	4	126	127	128	1267	1268	1269	23.5619449	235.2483948
1	5	92	92	90	606	607	608	37.69911184	250.5477747
1	6.4	115	114	115	466	467	465	62.76902122	255.0903827
1	8	116	117	118	331	330	331	98.96016859	279.6822998
1	10	47	47	48	84.3	84.3	84.2	155.5088364	276.849534
1	12.5	105	104	105	138	139	139	243.8661297	323.0837897
1	16	155	155	155	132	133	133	400.5530633	342.838966
1	20	88	89	92	47.3	47.4	47.4	626.7477344	331.0812381
1	25	53	53	53	16.2	16.2	16.1	980.1769079	298.9847801
1	32	37	36	38	6.1	6	6.1	1606.924642	263.4777341
10	32	37	36	37	70.7	70.6	70.7	145.1415806	279.7274099
1	40	133	132	131	12.2	12.1	12	2511.703327	230.2394716
10	40	133	132	133	12.5	12.4	12.6	235.619449	22.20032497
10	50	138	137	137	6.8	6.7	6.7	376.9911184	18.48354513
10	64	108	109	110	2.3	2.3	2.1	627.6902122	12.86093095
10	80	118	117	118	1.2	1.3	1.4	989.6016859	10.93327642
10	100	124	126	125	0.9	0.7	0.8	1555.088364	9.952565527
10	125	154	154	153	0.4	0.5	0.6	2438.661297	7.934906607
10	160	120	121	122	0.2	0.2	0.5	4005.530633	9.931067686
10	200	53	54	56	0.1	0.1	0.2	6267.477344	15.3803125
50	200	59	59	61	3.1	3.1	3.1	1178.097245	61.20840435
10	250	176	176	175	0.1	0.1	0.1	9801.769079	5.579754694
50	250	150	151	151	4.7	4.6	4.6	1884.955592	57.96655471
50	320	114	114	114	2.1	2.1	2.1	3138.451061	57.81357218
50	400	110	110	111	1.3	1.3	1.3	4948.008429	58.2997972
50	500	88	87	88	0.6	0.6	0.6	7775.441818	53.2159516
50	640	89	89	91	0.4	0.4	0.4	12789.42369	57.05319119

SEV 2									
MN/2 (m)	AB/2 (m)	I(Ma)			$\Delta U(mV)$			K(m)	$\varphi a(\Omega m)$
		1	2	3	1	2	3		
1	3.2	55	55	54	931.2	931.2	931	14.51415806	247.2185922
1	4	52	52	52	569.5	570	569	23.5619449	258.0486081
1	5	52	52	52	402	402	402	37.69911184	291.4431339
1	6.4	49	49	49	239	239	239	62.76902122	306.1591035
1	8	63	63	63	210	211	210	98.96016859	330.3908274
1	10	49	49	49	109	111	109	155.5088364	348.0435861
1	12.5	48	48	48	68	69	68	243.8661297	347.1705319
1	16	47	47	47	39.9	39.9	39.9	400.5530633	340.0439836
1	20	56	56	55	31.3	31.3	31.3	626.7477344	352.4048638
1	25	69	69	70	24.6	25	24.5	980.1769079	349.1880234
1	32	49	49	49	11.1	11	11.1	1606.924642	362.924477
10	32	49	49	49	117	117	117	145.1415806	346.5625496
1	40	51	51	50	7.1	7.1	7.1	2511.703327	351.968953
10	40	57	57	58	80.2	80.4	80.4	235.619449	330.1412047
10	50	66	65	67	55.8	56	56	376.9911184	319.4904529
10	64	49	49	52	22.9	22.9	22.9	627.6902122	287.4821172
10	80	50	50	51	12.6	12.6	12.6	989.6016859	247.7281041
10	100	46	46	46	6.12	6.12	6.12	1555.088364	206.8943649
10	125	56	56	56	3.9	3.9	3.9	2438.661297	169.8353404
10	160	45	49	46	1.7	1.7	1.7	4005.530633	145.9157588
10	200	45	45	45	0.8	0.8	0.8	6267.477344	111.4218194
50	200	30	30	30	3.8	3.8	3.8	1178.097245	149.225651
10	250	47	47	47	0.4	0.4	0.4	9801.769079	83.41931131
50	250	42	42	42	2.3	2.3	1.2	1884.955592	86.7677971
50	320	42	42	42	1	1	0.8	3138.451061	69.74335691
50	400	46	46	46	0.7	0.7	1	4948.008429	86.05232051
50	500	48	48	48	0.4	0.4	0.6	7775.441818	75.59457323
50	640	53	53	53	0.3	0.3	0.4	12789.42369	80.436627

SEV 3									
MN/2 (m)	AB/2 (m)	I(Ma)			$\Delta U(mV)$			K(m)	$\varphi a(\Omega m)$
		1	2	3	1	2	3		
1	3.2	63	63	63	1084	1085	1084	14.51415806	249.8124665
1	4	62	62	62	487	487	488	23.5619449	185.201954
1	5	59	59	58	245	246	247	37.69911184	158.0792303
1	6.4	58	57	58	112	113	115	62.76902122	123.3610822
1	8	57	57	55	57	59	59	98.96016859	102.4735474
1	10	73	72	71	44	46	45	155.5088364	97.19302272
1	12.5	63	63	63	23	25	27	243.8661297	96.7722737
1	16	72	72	72	16	16	17	400.5530633	90.86620418
1	20	73	73	73	13	12	13	626.7477344	108.7507484
1	25	60	60	60	8.4	8.6	8.8	980.1769079	140.4920235
1	32	61	61	59	5.9	6	6	1606.924642	158.9168569
10	32	61	61	58	59.7	60	60	145.1415806	144.899678
1	40	60	62	61	4	4	4	2511.703327	164.7018575
10	40	59	60	58	39.2	39.1	39.2	235.619449	156.414041
10	50	52	53	56	24.9	24.9	25.1	376.9911184	175.3828247
10	64	65	65	64	21.5	21.8	21.7	627.6902122	210.3085762
10	80	59	59	61	14	14	14.2	989.6016859	233.3027438
10	100	60	61	63	9.3	9.3	9.5	1555.088364	237.4890381
10	125	54	56	58	5.3	5.4	5.5	2438.661297	235.1566251
10	160	46	46	45	2.5	2.5	2.5	4005.530633	219.2808741
10	200	48	47	48	1.2	1.3	1.5	6267.477344	175.3140516
50	200	48	47	49	5.8	5.9	5.8	1178.097245	143.1715402
10	250	52	52	55	0.6	0.6	0.7	9801.769079	117.1280582
50	250	53	55	57	2.9	3	3	1884.955592	101.6733622
50	320	35	35	35	1	0.9	1	3138.451061	86.6810293
50	400	41	40	40	0.8	0.7	0.8	4948.008429	94.05305279
50	500	44	44	49	0.6	0.6	0.6	7775.441818	102.1590896
50	640	59	60	59	0.6	0.6	0.6	12789.42369	129.3312508